

## РАЗРАБОТКА ПРЕЦИЗИОННЫХ УСТРОЙСТВ ИСПОЛНИТЕЛЬНОЙ АВТОМАТИКИ ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ СО СРОКОМ АКТИВНОГО СУЩЕСТВОВАНИЯ НЕ МЕНЕЕ 15,5 ЛЕТ

З.А. Юдина, С.О. Бойко, С.С. Бойков, А.А. Гришин

Научный руководитель: профессор, к.т.н. В.И. Халиманович

АО «Информационные спутниковые системы имени академика М.Ф. Решетнёва»

Россия, Красноярский край, г. Железногорск, ул. Ленина, 52, 662972

E-mail: [u-z-a@yandex.ru](mailto:u-z-a@yandex.ru)

Космический аппарат содержит большое количество технических систем специального назначения, функционирование которых обеспечивается за счет различного вида устройств исполнительной автоматики (УИА).

Современные потребности рынка телекоммуникационных услуг обязывают улучшать удельные характеристики космического аппарата. Для УИА, наряду с требованиями по уменьшению массы и габаритов, постоянно ужесточаются требования по точности, жёсткости и ресурсу непрерывной работы в течение не менее 15,5 лет, качеству и надежности.

В связи с этим необходимы новые конструктивные решения, оптимальный выбор, материалов, покрытий, внедрение современных методов и средств проектирования, изготовления, наземной экспериментальной отработки.

Цели: Усовершенствование методик проектного расчета, создание опережающего задела по ключевым элементам систем терморегулирования (СТР) и прецизионным УИА, создание импортозамещающего производства, обеспечивающего независимость отечественной космической отрасли от комплектующих изделий зарубежного производства.

Были разработаны, изготовлены и испытаны три ключевых элемента основных систем КА: электронасосный агрегат (ЭНА) системы терморегулирования; электромеханические модули (ЭММ) повышенной точности для систем наведения на базе вновь разработанных волновых зубчатых передач (ВЗП) со специальным профилем зуба, названным S-образным, прецизионных подшипников с перекрёстными роликами, гибридных шаговых двигателей (ГШД); линейный привод (ЛП) для многостепенных механизмов параллельной структуры на базе вновь разработанных ГШД и планетарной роликвинтовой (ПРВП) и шариквинтовой передач (ШВП) с преднатягом [1].

Разработан новый ЭНА жидкостной системы терморегулирования, предназначенный для создания циркуляции теплоносителя в контуре, при проектировании которого была использована усовершенствованная методика расчета спирального сборника, что послужило причиной улучшения его расходно-напорных характеристик. Применение двухступенчатой схемы позволило уменьшить диаметры трубопроводов, а, следовательно, и их массу за счет повышения перепада давления для преодоления возросшего сопротивления трубопровода. Результат проектирования: увеличенная эффективность теплоотвода КА мощностью более 10 кВт и улучшенные габаритно-массовые характеристики [1].

Разработана новая конструкция ЭММ – исполнительного элемента высокоточных механизмов наведения. Его основными комплектующими элементами являются: ГШД, ВЗП и прецизионный радиально-упорный подшипник с перекрёстными роликами. В отличие от существующих разработок, в представленном ЭММ была применена конструктивно-компоновочная схема, при которой ВЗП соединена напрямую с ГШД (без промежуточного редуктора). Такое решение повышает кинематическую точность механизма, его надёжность, а так же снижает его массу. В проектируемых ЭММ использовались ВЗП с незвольвентным специальным S-образным профилем зуба (типоразмеры 60 и 120 мм), которые впервые были изготовлены электроэрозионным способом, обеспечивающим кинематические характеристики зубчатых колёс на уровне 5-й степени точности. Изготовление колёс ВЗП с указанной степенью точности с использованием высокоточного электроэрозионного оборудования, а также

внедрение S-образного профиля зуба обеспечивают повышение характеристик механизмов наведения в части погрешности позиционирования (до  $\pm 15$  угл. сек), крутильной и изгибной жёсткости (до  $10^5$  Н·м/рад), ресурса непрерывной работы (до 200 000 оборотов) [1].

Для достижения представленных характеристик были разработаны прецизионные радиально-упорные подшипники с перекрестными роликами. Данный тип подшипника был выбран в связи с его высокими удельными характеристиками, обеспечивающими высокую изгибную жёсткость (не менее  $10^5$  Н·м/рад), отсутствие люфта, высокие массогабаритные показатели. Был спроектирован, изготовлен и испытан ряд ГШД для прецизионных УИА. Все ГШД ряда обеспечивают работоспособность при: давлении не ниже  $1,3 \cdot 10^{-11}$  кПа, температуре окружающей среды от минус  $70^\circ$  С до плюс  $70^\circ$  С. Следует отметить, что по своим характеристикам разработанные ЭММ находятся на одном уровне с лучшими мировыми аналогами, производимыми такими фирмами как MOOG (США), RUAG (Швейцария), а производство их комплектующих сосредоточено на территории РФ.

Были спроектированы, изготовлены и испытаны линейные приводы на основе ПРВП и ШВП. Приводы на основе таких передач востребованы для выполнения задач точного пространственного перемещения и поднастройки положения элементов конструкции КА (антенн, штанг), поскольку проведенные исследования показали перспективность их использования в связи с высокими эксплуатационными характеристиками в части погрешности позиционирования, осевой жёсткости, КПД и ресурса. Разработанная конструкция линейного привода, отличается от существующих использованием линейных передач собственной разработки, улучшенными техническими характеристиками в части погрешности перемещения ( $\pm 0,001$  мм для ШВП и  $\pm 0,003$  мм для ПРВП), осевой жёсткости (не менее 10 Н/мкм.), повторяемости (не более 0,0008 мм), «мёртвого хода» (не более 0,002 мм), диапазона рабочих температур ( $\pm 70^\circ$ С), ресурса (не менее 100 000 циклов) [1].

В процессе опытного освоения технологии изготовления разработанной научно-технической продукции было решено большое количество технологических задач разного рода:

1. Освоено специализированное оборудование и технология изготовления эвольвентных зубчатых передач с модулем до 0,3 мм 5 степени точности.
2. Внедрена и освоена технология изготовления неэвольвентных S-образных зубчатых колёс ВЗП с модулем до 0,2 мм и кинематическими показателями до 5 степени точности, технологией электроэрозионного изготовления профиля.
3. Освоена технология изготовления и автоматического контроля размеров деталей с точностью до 2 качества.
4. Изготовление и соединение сборочных единиц между собой с обеспечением зазора не более 2,5 мкм.

Результаты в области создания УИА в целом заключаются в разработке нового поколения УИА космического применения, обладающего улучшенными техническими характеристиками в части технического ресурса (не менее 15,5 лет), габаритно-массовых характеристик, точности позиционирования целевой аппаратуры КА, жёсткости.

Результаты, полученные при проведении работ в рамках ОКР в части ЭММ с ВЗП типоразмером 60 мм, внедрены в состав устройства наведения антенн КА разработки АО «ИСС». Остальные результаты, полученные при проведении работ в рамках ОКР, планируется использовать при разработке прецизионных устройств исполнительной автоматики перспективных КА разработки АО «ИСС» и других предприятий отрасли.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Разработка технологии изготовления агрегатов пневмоавтоматики и терморегулирования на основе микроэлектромеханических систем для космических аппаратов с ресурсом не менее 15 лет [Текст]: итоговый отчёт в 6 частях: АО «ИСС» им. ак. М.Ф. Решетнёва; рук. А.В. Леканов, В.И. Халиманович. – Железногорск, 2016.